

Durezza dei materiali metallici

La DUREZZA è la capacità che hanno i materiali di resistere alle **forze concentrate**, ovvero è la resistenza superficiale che il materiale oppone alla penetrazione di un corpo duro attraverso una **compressione localizzata** (concetto metallurgico di durezza).

Le PROVE DI DUREZZA: servono per determinare il **grado o indice di durezza** di un materiale. La prova consiste nel fare penetrare nel materiale in esame un **penetratore** di forma opportuna sotto un determinato **carico applicato perpendicolarmente alla superficie** da provare. Dalle dimensioni dell'impronta e dal carico applicato si deducono gli indici di durezza del materiale nel caso delle prove di durezza Brinell e Vickers, mentre dalla profondità dell'impronta si deducono gli indici di durezza nelle prove Rockwell "B" e "C".

Le prove di durezza sono **prove statiche di tipo non distruttive**. I carichi vanno quindi applicati in modo graduale e continuo per un tempo prestabilito dalle norme.

L'attrezzatura, la macchina che applica il carico ed eventualmente rileva delle misure si chiama, in generale, **durometro**.

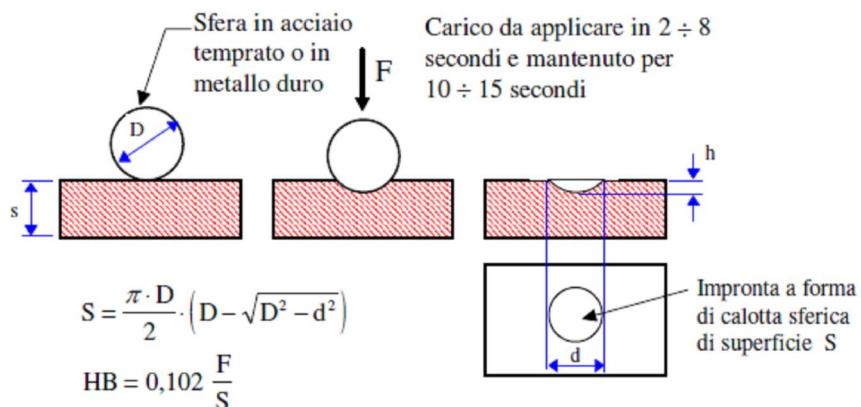


DESCRIZIONE DELLE PROVE DI DUREZZA

DUREZZA BRINELL

Viene utilizzato un **penetratore sferico di acciaio duro** di diametro 10 mm, o 5 mm, o 2,5 mm, o 2 mm, o 1 mm. Il **carico** da applicare, che deve essere perpendicolare alla superficie di prova, **dipende dal diametro del penetratore utilizzato e dal materiale in prova**.

Questa prova si effettua su **materiali di bassa o di media durezza**.



Carichi in funzione del diametro per gli ACCIAI

D (mm)	F (N)
10	29400
5	7350
2,5	1837
2	784
1	294

Dopo la prova **nessuna deformazione deve essere visibile sulla faccia opposta** a quella sulla quale è stato applicato il penetratore.

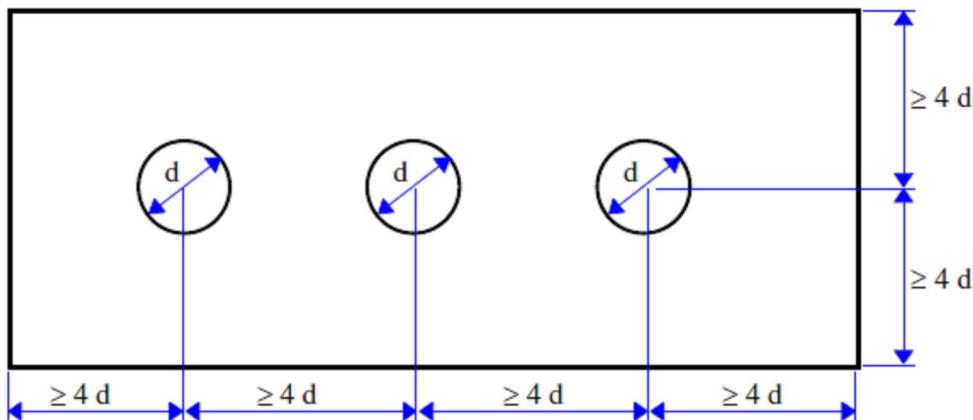
PROCEDURA PER IL CALCOLO DELL'INDICE DI DUREZZA BRINELL, indicato con HB

- 1) Si esegue la prova facendo **almeno tre impronte**.
- 2) Si rilevano col microscopio d'officina le **misure dei diametri delle impronte** (due diametri fra loro perpendicolari per ogni impronta e dei due diametri se ne calcola la media aritmetica), con d si indica il diametro medio dell'impronta.
- 3) Si verificano le **condizioni di validità**:

1a condizione di validità

D (mm) è il diametro della sfera utilizzata come penetratore

d (mm) è la media aritmetica dei diametri delle impronte



Tutte le quote indicate nella figura in alto:

le distanza tra i centri delle impronte

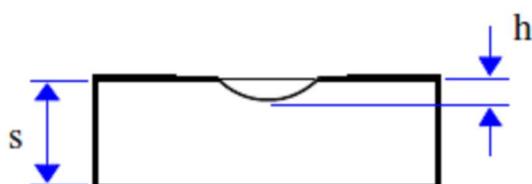
le distanze tra il centro delle impronte e il bordo del provino

devono essere al **minimo quattro volte** il diametro medio dell'impronta più grande.

2a condizione di validità

Il **diametro medio** di ogni impronta deve essere **compreso tra 0,24 D e 0,6 D**, cioè si deve verificare che $0,24 \cdot D \leq d \leq 0,6 \cdot D$

3a condizione di validità



Calcolata la profondità dell'impronta $h = \frac{1}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$, Lo **spessore** in millimetri del provino deve essere **minimo otto volte** per h, cioè si deve verificare che $s \geq 8 \cdot h$.

4) Se sono verificate le condizioni di validità si calcola la media aritmetica di tutti i diametri, d.

5) Si calcola la superficie dell'impronta media con la formula:

$$S = \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

6) Si calcola l'indice di durezza Brinell con la formula:

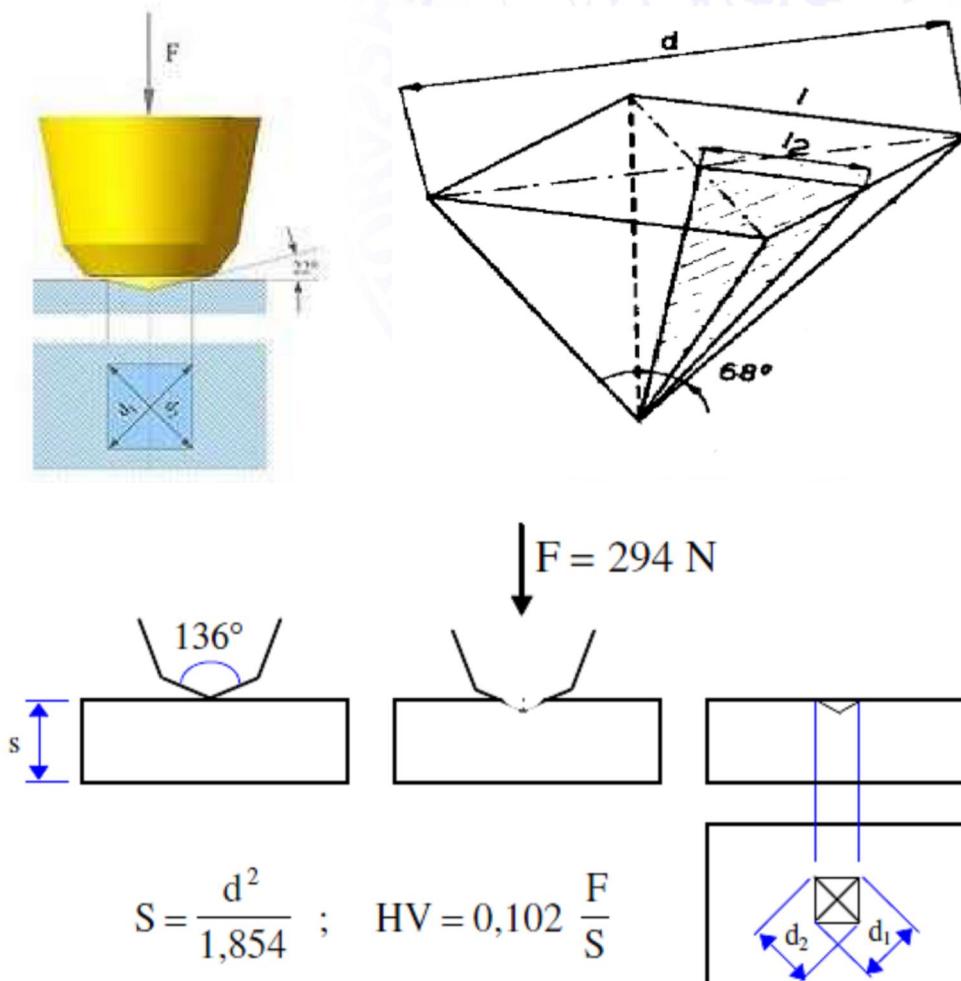
F (N) è la forza applicata al penetratore

S mm² è la superficie dell'impronta media

$$HB = 0,102 \cdot \frac{F}{S}$$

DUREZZA VICKERS

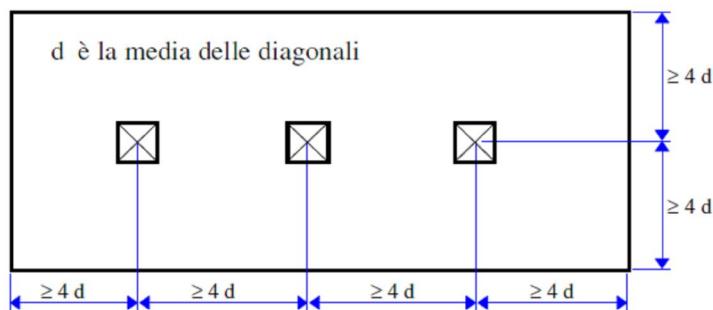
Viene utilizzato un **penetratore di diamante a forma di piramide retta** a base quadrata, con angolo tra le facce opposte al vertice di 136° . Il **carico** da applicare, che deve essere perpendicolare alla superficie di prova, **dipende dal materiale** in prova (per l'acciaio normalmente è di 294 N). Questa prova può essere fatta su **qualsiasi tipo di materiale**.



PROCEDURA DEL CALCOLO DELL'INDICE DI DUREZZA VICKERS, indicato con HV

- 1) Si esegue la prova facendo **almeno tre impronte**.
- 2) Si rilevano col microscopio d'officina le **misure delle diagonali** di ognuna delle impronte e se ne calcola la media aritmetica.
- 3) Si verificano le condizioni di validità:

1a condizione di validità



Le distanze tra i centri delle impronte

Le distanze tra il centro delle impronte e il bordo del provino

devono essere al **minimo quattro volte** la diagonale d media dell'impronta più grande.

Durezza

2a condizione di validità

Lo **spessore** in millimetri del provino deve essere **minimo 1,5 volte la diagonale media** dell'impronta: $s \geq 1,5 \cdot d$

4) Se sono verificate le condizioni di validità si calcola la media aritmetica di tutte le diagonali.

5) Si calcola la superficie dell'impronta media con la formula:

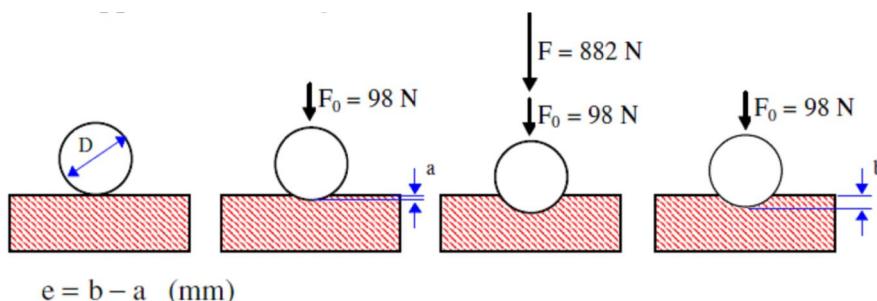
$$S = \frac{d^2}{1,854} \text{ mm}^2$$

6) Si calcola l'indice di durezza Vickers con la formula

$$HV = 0,102 \cdot \frac{F}{S}$$

DUREZZA ROCKWELL "B", indicato con HRB

Consiste nel far penetrare, in **due tempi**, sulla superficie del pezzo da provare un **penetratore sferico di acciaio temprato** di diametro uguale a 1,587 mm avente durezza $HV \geq 850$. Il penetratore viene portato in posizione perpendicolare alla superficie da provare ed a contatto con questa; si applica senza urto il carico iniziale $F_0 = 98$ N e si sposta il quadrante dello strumento indicatore di profondità sino a portare l'indice sullo zero della scala. Si applica progressivamente, in un tempo di 5 , 10 secondi, il carico addizionale $F = 882$ N. Trascorsi 30 secondi dall'applicazione del carico addizionale F questo si toglie in modo da riportare il carico al suo valore iniziale F_0 . Quindi si rileva dal quadrante del durometro **la profondità dell'impronta** "e" (accrescimento rimanente) così come rappresentato in figura.

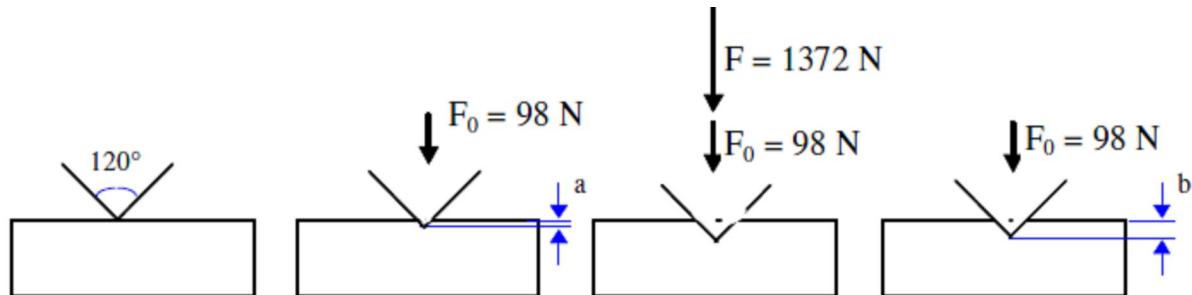


Secondo questa scala di durezza convenzionale, 130 HRB è la durezza dell'acciaio temprato; si ottiene per $e = 0$. Questo tipo di prova si effettua su **materiali aventi durezza Brinell minore di 200 HB**.

DUREZZA ROCKWELL "C", indicato con HRC

Consiste nel fare penetrare, in **due tempi**, sulla superficie del pezzo da provare un **penetratore di diamante a forma di cono** circolare retto con angolo al vertice di 120° .

Il penetratore viene portato in posizione perpendicolare alla superficie da provare ed a contatto con questa; si applica senza urto il carico iniziale $F_0 = 98 \text{ N}$ e si sposta il quadrante dello strumento indicatore di profondità sino a portare l'indice sullo zero della scala. Si applica progressivamente, in un tempo di 5 , 10 secondi, il carico addizionale $F = 1372 \text{ N}$. Trascorsi 30 secondi dall'applicazione del carico addizionale F questo si toglie in modo da riportare il carico al suo valore iniziale F_0 . Quindi si rileva dal quadrante del durometro **la profondità dell'impronta "e"** (accrescimento rimanente) così come rappresentato in figura.



$$e = b - a \text{ (mm)}$$

$$\text{HRC} = 100 - 500 \cdot e \quad \text{si legge direttamente dalla macchina}$$

Secondo questa scala di durezza convenzionale, 100 HRC è la durezza del diamante; si ottiene per $e = 0$. Questo tipo di prova si effettua su **materiali aventi durezza Brinell maggiore di 200 HB**.

Le **superfici** su cui si eseguono le prove devono essere **prive di ossidi, scorie, materie estranee, lisce** ed accuratamente levigate **tanto più quanto minore è l'impronta**. Dopo la prova **nessuna deformazione deve essere visibile sulla faccia opposta** a quella sulla quale è stato applicato il penetratore.

Nell'eseguire la prova di durezza Rockwell bisogna fare in modo che lo spessore della provetta sia almeno pari a 10e per prove effettuate con il penetratore conico ed almeno 15e per prove con penetratore sferico Inoltre la distanza tra i centri di due impronte adiacenti deve essere almeno 2mm e la distanza tra il centro dell'impronta ed il bordo della provetta deve essere almeno uguale a 1mm

CONFRONTO FRA LE SCALE DI DUREZZA BRINELL, ROCKWELL "B" E ROCKWELL "C":

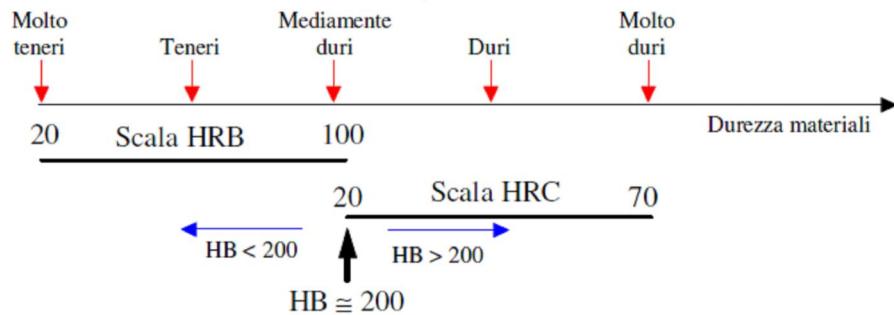


TABELLA RIASSUNTIVA PER LO SVOLGIMENTO DELLE PROVE DI DUREZZA UNIFICATE

Tipo prova	Tipo di penetratore	Carico da applicare	Tempo appl. carico	Condizioni di validità	Indice di durezza	Campo di variabilità	Tipi di materiali
B R I N E L L	sfera di acciaio duro di diametro 10 mm	F= 29400 N	2-8 s e restare applicato per 10-15 s	s ≥ 8 h 0,24D ≤ d ≤ 0,6D minimo tre impronte	HB = 0,102 $\frac{F}{S}$ $S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$	80-400	teneri
V I C K E R S	piramidale a base quadrata con punta di diamante e apertura al vertice di 136°	F=294 N	2-8 s e restare applicata per 10-15 s	s ≥ 1,5 d minimo tre impronte	HV = 0,102 $\frac{F}{S}$ $S = \frac{d^2}{1,854}$	80-900	tutti
R O C K W E L L B	sfera di acciaio temprato di diametro 1/16" = 1,5875mm	F ₀ = 98 N + F=882 N	5-10 s e restare applicato per 30 s	s ≥ 8 e minimo tre impronte	HRB=130-500 e si legge direttamente dalla macchina	20-100	teneri ferrosi
R O C K W E L L C	conico con punta in diamante e apertura al vertice di 120°	F ₀ = 98 N + F=1372 N	5-10 s e restare applicato per 30 s	s ≥ 8 e minimo tre impronte	HRC=100-500 e si legge direttamente dalla macchina	20-80	duri ferrosi

CONFRONTO TRA GLI INDICI DI DUREZZA DELLE VARIE PROVE

	HB	HV	HRC	HRB
MATERIALI MOLTO DURI		1000	70	
		850	65	
		700	60	
		600	55	
		500	50	
MATERIALI DI MEDIA DUREZZA	400	400	40	
		300	30	
	200	200	20	100
		180	180	90
		160	160	85
MATERIALI TENERI		140	140	80
		120	120	70
		100	100	60

Come si può notare gli indici di durezza delle scale Brinell e Vickers coincidono per valori fino a 400 HB, mentre ad una durezza di circa 200 HB corrisponde una durezza pari a 20 HRC ed una durezza pari a 100 HRB.

ESERCIZI SULLE PROVE DI DUREZZA

- 1) Su un provino di acciaio dello spessore di 20 mm è stata effettuata una prova di durezza Brinell ($D = 10$ mm). Dall'esame delle tre impronte si sono rilevati i seguenti diametri:

¹ ^a impronta	$d_1 = 3.56 \text{ mm}$	$d_2 = 3.57 \text{ mm}$	$h = 0.32 \text{ mm}$
² ^a impronta	$d_1 = 3.56 \text{ mm}$	$d_2 = 3.56 \text{ mm}$	$h = 0.33 \text{ mm}$
³ ^a impronta	$d_1 = 3.55 \text{ mm}$	$d_2 = 3.57 \text{ mm}$	$h = 0.33 \text{ mm}$

Calcolare l'indice di durezza Brinell di quel materiale dopo aver verificato le condizioni di validità.

Medie diametri impronte:	1 ^a impronta	$d = \frac{3,56+3,57}{2} = 3,565\text{mm}$
	2 ^a impronta	$d = \frac{3,56+3,56}{2} = 3,56\text{mm}$
	3 ^a impronta	$d = \frac{3,55+3,57}{2} = 3,56\text{mm}$

Condizioni di validità: $s \geq 8h$ $0,24 D \leq d \leq 0,6 D$

1ª impronta	$20 \geq 8 \times 0,32 = 2,56 \text{ mm}$	$2,4 \leq 3,565 \leq 6$	valida
2ª impronta	$20 \geq 8 \times 0,33 = 2,64 \text{ mm}$	$2,4 \leq 3,56 \leq 6$	valida
3ª impronta	$20 \geq 8 \times 0,33 = 2,64 \text{ mm}$	$2,4 \leq 3,56 \leq 6$	valida

$$\text{Media diametri di tutte le impronte: } d = \frac{3,565 + 3,56 + 3,56}{3} = 3,561 \text{ mm}$$

$$S = \frac{\pi D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) = \frac{3,14 \times 10}{2} \times \left(10 - \sqrt{10^2 - 3,561^2} \right) = 10,291 \text{ mm}^2$$

$$HB = 0,102 \cdot \frac{F}{S} = 0,102 \times \frac{29400}{10,291} = 291$$

- 2) Su un provino di acciaio temprato è stata effettuata una prova di durezza Vickers. Dall'esame delle tre impronte si sono rilevate le seguenti diagonali:

1 ^a impronta	$d_1 = 0.24 \text{ mm}$	$d_2 = 0.26 \text{ mm}$
2 ^a impronta	$d_1 = 0.25 \text{ mm}$	$d_2 = 0.26 \text{ mm}$
3 ^a impronta	$d_1 = 0.25 \text{ mm}$	$d_2 = 0.27 \text{ mm}$

Calcolare l'indice di durezza Vickers di quel materiale.

$$\text{Media delle diagonali: } d = \frac{0,24+0,26+0,25+0,26+0,25+0,27}{6} = 0,255 \text{ mm}$$

$$S = \frac{0,255^2}{1,854} = 0,035 \text{ mm}^2 \quad HV = 0,102 \cdot \frac{F}{S} = 0,102 \times \frac{294}{0,035} = 857$$

- 3) Su quattro materiali diversi si sono fatte quattro prove di durezza; si sono calcolati per
il materiale 1 : 95 HRB
il materiale 2 : 32 HRC
il materiale 3 : 150 HV
il materiale 4 : 160 HB

Disporre i materiali in ordine di durezza crescente.

il materiale 3 : 150 HV
il materiale 4 : 160 HB

il materiale 1 : 95 HRB
il materiale 2 : 32 HRC